

幕末・明治期の船舶用蒸気機関運用技術について

坂本卓也

〔抄録〕

幕末期以降日本に導入された蒸気船について、その心臓部である蒸気機関の運転と修理・建造技術の国内化過程の検討を行った。分析の時期は幕末から明治期とし、国内における技術導入の牽引役となった幕府海軍と日本海軍を主な分析対象とした。

幕末期の運転技術について、長崎海軍伝習所や軍艦操練所などで技術伝習が行われるが、実地訓練の不足などにより、その技術には大きな不安を抱えたままであった。また修理・建造技術についても、長崎と横浜の両製鉄所において外国人の技術伝習が行わ

れるが、彼らの指導下から脱することはできなかった。明治期以降には、イギリス海軍機関士の体系的な教育や遠洋航海により運転技術の向上が見られ、明治二〇年（一八八七）には国内化を達成している。修理・建造技術についても横須賀造船所におけるフランス人技術者による指導や、留学生の派遣による技術向上により、明治四〇年頃までには国内化を達成している。

キーワード 幕末 明治 蒸気船 蒸気機関 運用

はじめに

実用的な動力として利用可能な蒸気機関は、一八世紀末のイギリスにおいて、ジェームズ・ワットにより完成された。^① 蒸気機関の原動力は、水に熱を加えて水蒸気へと変化する際に、体積が約一七〇〇倍に膨張することで生じる蒸気圧である。その蒸気機関を船に搭載して、

一八〇七年に外車式蒸気船クラーメント号として実用化させたのがアメリカのロバート・フルトンであった。^②

日本においては、蒸気船の実用化からおよそ半世紀後の嘉永六年（二八五三）にペリー艦隊の来航を迎えることとなるが、それを大きな契機として、海防の強化を主な目的に幕府や諸大名家では数多くの蒸気船が導入されている。勝海舟『海軍歴史』の「船譜」によると、

慶応期末（一八六八）までに幕府が所有していた蒸気船は二九隻、諸大名家では五七隻であった。⁽³⁾それから約四〇年を経た明治四〇年（一九〇七）末の統計では、国内で登録されていた蒸気船（二〇トン以上）は一五七四隻へと大幅に増加している。⁽⁴⁾これらの蒸気船を日常的に運用するためには、心臓部である蒸気機関の運転・修理・建造技術の習得が不可欠であった。

本稿の目的は、これら幕末・明治期に導入された蒸気船に焦点をあて、そこに搭載された蒸気機関を運用する技術の導入過程を説明することである。なお、本稿における蒸気機関の「運用」とは、蒸気機関を運転することだけでなく、蒸気機関の修理・建造も含め維持管理していくことを指す。ここで蒸気船に着目するのは、その導入が海上交通史上に大きな影響を与えたためである。⁽⁵⁾西洋の科学技術が生み出した蒸気船は、蒸気機関という動力を備え自走することが可能であり、その強みは速力と定時性であった。蒸気船を利用することで人・物資の迅速な移動が可能となり、また風待ちの必要がなく移動の定時性が大きく高まったことで、到着日時を計算することも可能となった。このように蒸気船の登場は、海上交通に大きな変革をもたらすものであった。もちろんその影響は交通面だけにとどまることはなく、人・物資の移動時間の短縮化と定時性の確保は、幕末期以降の政治活動や軍事行動の在り方にも変革をもたらしている。慶応三年（一八六七）二月の王政復古の政変に際しては、芸州浅野家や長州毛利家の蒸気船が兵員の輸送などで重要な役割を果たすこととなった。それに続く戊辰戦争においても主に輸送船として兵站を担っている。⁽⁶⁾

これまでの蒸気船運用に関する研究では、幕末期に関しては近年神谷大介氏や高久智広氏により幕府蒸気船の運用体制の一部が明らかにされているが、いずれも蒸気機関の運用についての分析はなされていない。⁽⁷⁾諸大名家においては、芸州浅野家や加賀前田家の蒸気船運用についての検討がなされているが、史料的な制約もあり、ごく一部分の艦船の実態分析にとどまっている。⁽⁸⁾

明治期に関しては、井上洋一郎氏が国内における民間造船業の発展について言及し、欧米からの先進技術の直接的・間接的導入・摂取によつて造船技術は進展を続け、明治末期に至つて船体設計・工作、機関製作をあわせてほぼ「自立化」を達成したと結論づけている。⁽⁹⁾ただし、井上氏の論考では、明治二〇年代以降が検討の中心とされており、近代造船業発展の起点となった幕末から明治期前半についてはほとんど触れられていない。

そうした課題を明らかにするために、本稿では船舶用蒸気機関の運用技術に着目し、西洋科学技術への対応という視点から、幕末・明治期にかけての蒸気機関の運転や修理・建造技術の習得過程を中心に考察を行う。幕末期には幕府海軍、明治期には日本海軍を主な分析対象とする。幕府は当時の蒸気船保有数において他を圧倒するとともに、長崎海軍伝習所や製鉄所を設置し、蒸気機関の運用技術を習得する上において、もつとも優位な環境にあったと考えられる。明治期以降、海軍の艦艇には経済性のある程度度外視した最新の技術が盛り込まれ、国内の蒸気船運用に関する技術発展の指導的役割を果たしていたことから、蒸気機関運用の分析対象としても適していると考えられる。⁽¹⁰⁾な

お、修理・建造技術について、幕末期には国内での建造はごく限られ、修理が中心である一方、明治期以降は機関の修理・建造ともに盛んになっており、建造技術のうちに修理技術も含まれるものとして、明治期の分析は特に建造技術の習得過程に焦点をあてる。

明治政府が目指した「富国強兵」のスローガンを達成し外国と対峙するためにも、外国人の指導を受けることなく、日本人のみでの蒸気機関運用を果たすことは重要であった。欧米から持ち込まれた新しい科学技術である船舶用蒸気機関が、国内にどのように受容され、いつ頃にはその運転・修理・建造ともに日本人のみで可能となったのか、西洋科学技術の導入と昇華という観点から検討を行う。

本稿の叙述は主に、日本船舶機関史編集委員会編『帝国海軍機関史』上／下巻（原書房、一九七五年）に依拠して進めていく。それにより同書からの引用が多数に上っており、これらの引用については煩雑さを避けるため、本文中に「『機関史』上二一九頁」（『帝国海軍機関史』上巻、二一九頁）などのように記す。なお同書は海軍が編纂した極秘資料で、その記述は幕末以前より昭和五年（一九三〇）にまで至り、内容は主機関から補機類まで多岐にわたっている。

一 幕末期の蒸気機関運用

1 運転技術の習得

前述したように、日本では嘉永六年のペリー艦隊の来航において蒸気船との接触を果たすこととなるが、当時の日本人の蒸気機関に対する知識レベルはどの程度であったのか。それは蒸気機関を初めて見た

際に日本人が受けた印象から窺い知ることができる。やや時期は下るが、文久二年（一八六二）一月に、蒸気船を見学した加賀前田家の家老横山蔵人（政和）が、同役で海防方を兼ねる青山将監（恵次）にあてた書簡に感想を残している。「長州殿蒸気船、品川沖ニ碇泊いたし居候付、前月一五日聞番示合、私見物ニ罷越申候、船中へ乗移一覽仕候、中々大成仕組ニ而不容易品ニ御座候、素人ニ而者とても一朝一夕ニ運用方等熟練可仕ものとは不被存候」と述べ、品川沖に停泊していた長州毛利家の蒸気船（同年九月に横浜で購入され、国許へ廻航される前の壬戌丸であろう）に、横山が乗船し内部を見学している。蒸気船は「中々大成仕組」であり、「素人」ではとても短期間に運用を習熟できるものではないとし、蒸気船運転（当然蒸気機関の運転も含む）の難しさを実感している。これは幕末期の国内における一般的な蒸気船への印象を象徴しているものと考えられる。そのような蒸気船（蒸気機関）の運転技術をどのようにして身に付けていったのかを検討する。

ペリー艦隊により蒸気船の威力を見せつけられた幕府は、まず長崎のオランダ人からの技術習得を目指した。嘉永七年の閏七月から九月にかけて、オランダ海軍中佐ファビウス艦長に率いられた外車式蒸気軍艦スーンビン号において、蒸気機関の運転も含めた技術伝習を受けている。期間はわずか三カ月程であったが、日本人が蒸気機関の技術伝習を受ける嚆矢となった（『機関史』上三四、五一頁）。伝習を受けたのは長崎奉行所の役人や肥前鍋島家の家臣らであった。スーンビン号は翌安政二年（一八五五）六月に再び長崎へ来航し、オランダ国王

から幕府へ献上され観光丸となり、長崎海軍伝習における練習艦として用いられることとなる。

同月にファビウスは商館長クルチウスを経由して、長崎奉行へ蒸気船の運転に必要な人員についての申立書を提出している。¹² その中でファビウスは、前年の伝習は「全大概を示候のみにて、好事家に数多之珍物を明解いたし候様之義」として、まったく技術伝習と言えるレベルではなかったと述べている。また蒸気機関の運転に関しては、「機械方」（三人）と「火焚方」（二〇人）の技術習得が重要であるとしている。機械方の任務は、蒸気機関の運転やその修理であった。

同月の別書簡においてファビウスは、火焚方（火夫）の役割について説明している。彼らの任務は燃料である石炭を燃やすことであるが、ただ単に燃やせばいいというものではなく、「石炭を少も費なく能燃立候様可致候、石炭之入費莫大之事にて、何れの地におゐても贖得候事にも無之、船中圍場も狭く候故、費を厭ひ候事は、実に無余儀事に候、火焚方は是等之事を習練可致事に候¹³」として、石炭を無駄なく効率的に燃焼させることが必要とされた。石炭の経費を抑えるのに加え、入手できる場所が限られていたことや、船内に積載できる量も限定されていたため、火焚方にも技量が求められていた。当時の蒸気機関は単膨張機関（単式機関）で、ボイラーで作り出した蒸気をシリンダーで一度膨張させるのみであったため、極端に効率が悪く、燃料の消費量が膨大であった。¹⁴ そのため火焚は、船の速力や航続距離に影響を及ぼす、非常に重要な役割を担っていた。

オランダ教師団による本格的な伝習は同年八月より開始され、途中

伝習生や教師団の入れ替わりをはさみながら、安政六年の二月に幕府側から中止の申出があるまで約三年半の間実施された（『機関史』上一三三頁）。伝習科目は航海・運用・造船・砲術・船具・測量・算術・蒸気機関であった。¹⁵ 実際にこの伝習による蒸気機関運転の技術力向上はどれほどであったのか、文倉平次郎の評価によると、「長崎の伝習では完全な教育を受けられなかった、例せば運用とか機関とかを一週二・三回修めた處で僅か一年位では何程も修得は出来ず¹⁶」とされ、蒸気機関などについて週二、三回の伝習を受けるのみであり、技術習得には不完全であったとしている。そのため日本人のみで運用すると「未熟の腕前だから風波の難に會ふと無理をやり（故障させてしまうため）、長崎へ廻して修理を請ふにも認可に時日が掛る、それで乗組の手で應急の修理をしても技術拙劣の爲め小破も終に大破となり修繕費が嵩む」とあるように、未熟な運転技術により故障を頻発させ、さらに修理技術のない自分たちで無理に応急対処しようとすることでさらなる事態の悪化を招いていた。

長崎での伝習と並行して、安政四年閏五月には、幕府によって築地講武所構内に軍艦操練所（当初の名称は「軍艦教授所」）が開かれ、江戸における技術伝習が開始されている。¹⁷ 軍艦操練所は発足当初より幕臣だけでなく諸家家来にも稽古を許可しており、そこでの教育内容は長崎での伝習とほぼ同様であった。ただし、こちらの教授方は日本人のみで、その多くは長崎での伝習を受けた幕臣であり、「未熟」な彼らが教えるのであるから伝習レベルは推して知るべしであろう。

それを物語るように、所有する蒸気船の増加しつつあった文久二年

の一〇月～十一月には、軍艦操練所の教授方矢田堀景蔵から乗組員の育成方法について改善を求める建議が行われている。¹⁸⁾ 建議書では、アメリカやオランダに発注した蒸気軍艦が近々到着予定であるが、現在の教授方法では「逆も一艘丈け之士官も無覺束」と危機感を表している。その理由は「稽古人數多く候共、席上講義受候のみにて實地研究之講習無之故」とし、これまでは座学での講義が中心で実地訓練をほとんど実施してこなかったためであった。また水夫・火夫についても、「水夫・火焚等之儀は御船にて稽古より外いたし方無之、就ては先當時御船々え何れも乗組め候たけは餘計に為乗組、古参之者より傳習受け稽古為致置」とあるように、その育成方法は艦内での訓練によるしかないとされている。実地訓練の不足を大きな要因として、軍艦操練所においては乗組員の育成が思うように進んでいなかった。

それでは、当時幕府蒸気船の機関運転に直接携わっていたのはどのような人々であったのか。安政二年に長崎海軍伝習が本格的に開始されるのに際して、蒸気機関方の要員としては適当な人材が見つからず、町人出身の長崎地役人が間に合わせ的に伝習へ参加している。水火夫では讃岐塩飽島や肥前長崎、伊豆の漁民を雇用して育成していた。¹⁹⁾ 彼らの多くがその後幕府海軍の蒸気船に乗組み、また諸大名家の蒸気船にも技術伝習のために雇われていることから、その技術レベルはどうであれ重宝されていた。²⁰⁾ 幕末期にオランダ教師団から、直接蒸気機関の運転などの技術伝習を受けた長崎地役人は、蒸気船に触れることすらほとんどない当時の日本においては非常に貴重な存在であった。

このような機関運転における地役人活躍の背景には、武士階層から

敬遠されていたことが要因の一つとして存在していた。長州毛利家の蒸気船壬戌丸などで機関方を勤めた毛利家陪臣土屋平四郎は、その回顧録の中で、当時機関学は「賤技」として毛利家家臣から敬遠され、技術を学ぼうとする者がほとんどいなかったことを述べている。²¹⁾ 武士とはあくまで戦う集団であり、船上砲術ならまだしも、蒸気機関という機械の運転などは、当然自分たちの役割ではないと忌避されていたのであろう。このような認識は、幕府や諸大名家の多くにも共通するものであったと予想される。それが町人である地役人に活躍の場を与えることとなった。²²⁾

後述するように元治元年（一八六四）末には、故障が頻発する幕府蒸気船翔鶴丸を横浜に廻航して、フランス人の協力により修理を行っているが、その際、蒸気機関の運転についても直接彼らから伝習を受けている。²³⁾ また慶応二年正月から四月にかけては、横浜碇泊の富士山艦においてフランス海軍軍人より技術伝習を受けている。²⁴⁾ オランダ人による長崎海軍伝習所が閉鎖されていたため、直接外国人から技術伝習を受ける貴重な機会であった。

幕末期には海外に留学しての技術習得も行われている。幕府からは文久二年九月より軍艦操練所の教授方など一五名がオランダに派遣され、その際には榎本武揚が蒸気機関学について学んでいる（『機関史』上一五〇～一五二頁）。彼らはオランダに発注した蒸気軍艦（後の開陽丸）の建造に立ち会うとともに実地での技術伝習も受け、その多くは完成した同艦に搭乗して慶応三年三月に日本へ帰国している。

慶応三年十一月からは、築地の海軍所（慶応二年六月に軍艦操練所

より改名）においてイギリス海軍教師団による技術伝習（蒸気機関も含む）が開始されるも、直後の翌年二月には戊辰戦争の混乱の中、伝習は中止となっている（『機関史』上二六八～二七〇頁）。当時は日本人のみでの蒸気機関の運転とその技術伝習には、未だ大きな不安を抱えていたものであろう。

このように、もっとも多くの蒸気船を所有し、長崎海軍伝習所や軍艦操練所などを設置して技術習得の機会に恵まれていた幕府海軍においてすら、慶応三年時点でも外国からの技術支援を必要としていた。幕末期においては蒸気機関の運転技術習得は発展途上段階にあったと言える。これは、蒸気船を所有していた諸大名家においても同様であろう。

2 修理・建造技術の習得

一般的に、蒸気機関の建造は船体の建造よりも高度な技術と設備を必要とする。⁽²⁵⁾これは当然修理においても同様である。蒸気機関は銅や鉄などの金属で構成されており、その建造や修理には金属加工の技術が必要であった。

国内での蒸気機関の建造は、嘉永期の初めより薩摩島津家、肥前鍋島家における翻訳書をもとにした蒸気船の雛形建造に向けた動きとして始まっている（『機関史』上二九～三〇頁）。それでは当時の日本人技術者の金属加工レベルはいかほどであったのか、薩摩島津家における事例を挙げて検討する。

島津家では嘉永四年より、『水蒸気説略』等の翻訳書をもとに江戸

と鹿児島において蒸気機関の建造を開始している。⁽²⁶⁾建造にあたったのは、熟練の鍛冶師・鋳物師であり、従来の職人が西洋技術に取り組んでいる。その様子は「造機に至りては初度の工事なるを以て、進行捗々しからず、釘目一箇を穿つも、螺子一個を造るも容易の業にあらず⁽²⁷⁾」とあるように、機関部に使用される銅や鉄などを加工して、釘穴をあけたりネジを作製したりするのにも非常に苦労していた様子がうかがえる。蒸気船製造方指揮掛であった市来四郎（正右衛門廣貫）らは、嘉永七年七月に長崎へ派遣され、オランダ蒸気軍艦スーンビン号（後の観光丸）に搭乗し、蒸気機関などを見学している。実物の蒸気船を目の当たりにした市来は、現在の金属加工技術では、実用的な蒸気船を建造することは不可能であると理解し、鹿児島に戻るとすぐに、自力で建造するよりもオランダから購入するのが得策であると上申している。⁽²⁸⁾これらの蒸気機関は安政二年には完成し、一応船に搭載されたものの、蒸気漏れが激しく実用的な性能ではなかった。欧米と比較し、日本における金属加工技術の発達が遅れていたことを示している。

蒸気機関などの金属加工に必要なとなるのは、工作機械であった。工作機械とは、金属片を必要な特殊の形状に加工し、もしくはある形を備えたものに精密な仕上げをするものであり、その技術水準はその国の工業水準をはかる重要なバロメータとされている。⁽²⁹⁾このように金属加工を第一の対象とする工作機械が誕生したのは一八世紀中葉以降の西洋においてであった。それまで鍛冶職人が手に持って使用していたハンマー、のこぎり、のみなどの刃物類が工作機械となり、職人が鉄の熱いうちに打ち抜いていた穴もドリルで開けられるようになった。

ヤスリ、砥石がけも職人から工作機械に移っていった。³⁰ 西洋ではこうした工作機械を備えた機械工場において正確な部品が作られ、それらで構成された蒸気機関も建造され始めた。実用的な蒸気機関を建造するためには、工作機械は必須のものであった。工作機械の存在しない日本で可能であったのは、蒸気機関の試作段階までであった。

前述したように、オランダから献上された蒸気船観光丸を用いた本格的な伝習は、安政二年八月より長崎で開始されているが、それと同時に蒸気機関の修理設備が必要となったため、幕府は諸機械類をオランダに発注している（『機関史』上四〇～四二頁）。日本で蒸気機関の修理を行うにも、まず外国からの工作機械の購入が必要であった。これらの機械は安政四年に至って第二次オランダ教師団とともに到着し、工事主任となった機関方士官ハルデスのもと、一〇月より長崎飽之浦に工場の建設が開始され、文久元年の三月に長崎製鉄所として竣工している。長崎製鉄所にはハルデスを始めとするオランダ人が教官として雇われていた。この工場について藤野保氏は「製造能力は、約五〇馬力の船用機関の製作と、普通艦船の小修理をする程度」であったとしている。³¹

この長崎製鉄所においては、安政六年一月から観光丸のボイラー交換（ボイラーはオランダから輸入したもの）が、文久元年五月からは咸臨丸の機関修理（詳細な内容は不明）が実施されている。³² また元治元年から翌年にかけては芸州浅野家の蒸気船震天丸のシリンドラー交換を実施している。³³ それでは当時の技術レベルはどれほどであったのか。元治元年一二月に長崎製鉄所を視察したイギリス陸軍工兵隊長のレイ

少佐は、オランダ式の工場は優秀であるが、日本人に十分な技術理解がなく「蒸気シリンドラーにも気泡が生じており、これでは蒸気を炊いた途端にいかれてしまうだろう」と酷評している。³⁴ レイ少佐が視察した時期がちょうど震天丸の修理を実施していた頃であるため、震天丸のシリンドラーのことを述べている可能性もある。国内でも最先端の設備を持っていた幕府の工場であったが、当時の日本人の技術力ではまだ蒸気機関の修理ですら容易ではなかった。

また同所においては文久二年から慶応二年にかけて、国産初の本格的な蒸気船千代田形の機関を建造（船体は石川島造船所で建造）している（『機関史』上二二六～二二七頁）。ただし、千代田形には復水器（後述）の設置がなく、仕事を終えた水蒸気は大気中に放出されるのみであり、当時の欧米諸国で建造された機関と比較して非常に単純なものであった。国内工場の技術的な限界を示しているものであろう。

前述したように、幕府は元治元年末にフランスの協力を得て、横浜において蒸気船翔鶴丸の修理を実施している。³⁵

翔鶴丸御船御損所出来二付、当節横濱表江佛蘭西國持渡之船、修復道具も有之候趣二付、早々彼地江罷越、度々御損無之様、御修復出来之積、可取斗旨、私共并栗本瀬兵衛江御沙汰御座候二付而者、手繰次第翔鶴丸御船、神奈川表江相廻し候様可仕候、就而者、御船運転方も有之候間、是迄乗組申渡置候御軍艦組、其外御軍艦操練稽古人之内、業前執心之者相撰、蒸気機関之取扱方佛人江問合、其外御船御修復筋等見習せ候ため、不取締之儀無之様、重立候者江申付、人数相定メ為乗組、差遣し候積御座候、右之趣栗本

瀬兵衛江も熟談仕、此段申上置候、以上

子十二月

御軍艦奉行並

軍艦奉行並からの届書では、横浜に到着したフランス船に積まれていた諸道具類を利用して翔鶴丸の修理を行う予定であり、そこに日本側の乗組員も参加させることで修理技術の習得を目指していた。蒸気船における木工部分の修理については、当時の日本人船大工の技術水準ではそれほど困難ではなかったとされていることから、わざわざフランスに依頼した今回の修理において中心となったのは機関部分である可能性が高い。

翌元治二年二月からは、フランス海軍士官ウエルニーの支援を受けて、幕府により横浜に製鉄所の建設が開始され、年号が慶応に変わった九月には横浜製鉄所として竣工している⁽¹⁷⁾。そこには肥前鍋島家から幕府に献上されたオランダ製工作機械が据え付けられていた。フランス人技術者を抱えた当時の横浜製鉄所は、江戸近海の船舶修理施設として重要な役割を果たしていた。横浜製鉄所は、横須賀に本格的な船渠を備えた製鉄所を建設するための準備工場（横須賀製鉄所は慶応元年九月起工）であり、フランス海軍士官らによる日本人への西洋工業技術の伝習の場ともなるものであった。

慶応二年一〇月頃に、軍艦奉行勝海舟と奉行並木村喜毅との連名で提出された海軍拡張に関する意見書では、当時の艦船でもっとも故障が頻繁に発生していたのはボイラー部分であり、その修理は長崎・横浜の両製鉄所では賄い切ることができず、上海まで発注せざるを得ない状況であったことが述べられている⁽¹⁸⁾。アヘン戦争後の南京条約によ

り開港され、欧米諸国の租界の置かれていた当時の上海は、日本に導入された蒸気船の重要な修理拠点となっていた⁽¹⁹⁾。幕末期の日本においては、外国の協力なくして蒸気機関の修理・建造は成り立たなかった。

二 明治期の蒸気機関運用

1 運転技術の習得

続いて明治期以降の蒸気機関運転に関する技術習得を検討する。明治二年九月には、海軍士官養成機関として東京築地に海軍操練所が創設され、翌明治三年一月から開講されている（『機関史』上六三三頁）。海軍操練所は同年十一月には海軍兵学寮と改称されているが、機関についての専門課程はなく、機関学は全生徒に広く教授されていた。そこでの教育内容は、長崎海軍伝習所においてのオランダ人による口授をもとにしたもので「極メテ幼稚」であったとされる。また実地練習の機会に乏しく、砲艦乾行をまれに隅田川において運転し、また校内では形式的に鍛冶・鋳物の仕上げの練習が実施された程度であった（『機関史』上六四一～六四二、七九四頁⁽²⁰⁾）。

明治六年一〇月にはイギリスから海軍中佐ドウグラス以下教師団を招聘し、海軍兵学寮でのイギリス海軍式教育が開始されている。機関については、兵学寮内に機関科を設置し機関士サットンを中心とした体系的な教育が実施されることとなり、この時初めて機関専門の士官を養成する課程が置かれた（『機関史』上二九二～二九三、六三四、七九四頁）。また、蒸気機関の整備・操縦が一定の規則のもとで組織的に実施されることになったのもこの時からであった。サットンらの

機関科教育は、実地を重視するため、翌明治七年五月には横須賀に兵学寮横須賀分校を設けている。東京で座学を受講し、横須賀では造船所において実地練習を行う体制となった（『機関史』上六四三頁）。座学については、イギリスの海軍兵学校で使用されていた船用機関書を中心に実施され、これが国内における機関学教科書の嚆矢であった。なお明治一〇年には同書が海軍兵学校（明治九年八月海軍兵学寮から改称）教官の麻生武平らにより『船用汽機全書』として翻訳・出版され、その後の機関科教育に大きく貢献することとなった（『機関史』上六四五～六四七、七九四頁）。

明治八年一〇月には機関科として最初の卒業生一三名を輩出している。その内の吉田貞一・馬場新八の二人は、イギリスの機関学に関する著書と、海軍兵学寮での機関科の教育内容を問答形式でまとめた『船用機械學獨案内』を明治一四年に編纂し、こちらも機関に関する取扱教本として重要な役割を果たした。明治一〇年代には、日本語での蒸気機関に関する取扱書が整備されていくことで、口授での伝習から体系的なテキストに基づく技術習得へと移行しつつあった。

海軍兵学校において機関科の指導にあたっていたイギリス人は、明治一二年にはサットンが任期満了で帰国し、残っていたクラッチ（明治一一年雇用）も一四年三月には解雇されており、以降は日本人が指導する体制となつて⁽¹⁾いる。その背景には、サットンらの指導による技術力向上と、日本語テキストが作成されたことで日本人による技術伝習の環境が整備されたこともあるものと考えられる。

明治期前半における海軍教育の特徴として挙げられるのは、頻繁に

実地訓練を目的とした遠洋航海を実施していることである。明治八年一〇月にサンフランシスコへ出港した筑波（船体は馬拉ッカ製、機関はイギリス製で一八五一年竣工）が最初であった（『機関史』上七三九～七四三頁）。筑波は明治一一年一月にも訓練としてオーストラリアへ派遣されている。また同月にヨーロッパ巡航へ出発した清輝は、後述のように横須賀造船所で日本人技術者により建造（設計はフランス人、明治九年六月竣工）された蒸気船であり、国産蒸気船として最初の遠洋航海であった（翌一二年一月帰港）。その後も毎年のように実地訓練のための遠洋航海は実施され、派遣先は主にオーストラリアなどのオセアニア方面であった。

当初の遠洋航海には、毎回イギリス人教師が同乗し乗員の指導にあつて⁽²⁾いたが、日本人の航海・機関運転の技術が向上したとして、明治一四年の龍驤（一八六五年イギリス製）によるオーストラリアへの航海を最後として、以降外国人の同乗・指導は行われなくなった。日本人のみによる最初の遠洋航海は、明治一五年三月出航のオーストラリアへの筑波による航海であった⁽³⁾。

ここで当時の遠洋航海における蒸気機関運転の状況を、明治一四年の龍驤による航海を事例に検討する。同年二月に、オーストラリアへ向けて横浜を出港する龍驤に与えられた訓令の第三条には、「航海ハ務メテ風帆ヲ用ヒ、蒸汽ハ出入港及避險等、全ク已ムヲ得ザル時ノ外用ユベカラザルコト」と記されている。一般に日清戦争以前の遠洋航海（主に明治一〇年以前建造の艦船を使用）ではその大部分が帆走であり、蒸気機関は出入港時や危険回避などのやむを得ない場合のみ使

用され、それ以外の機関士の仕事は航海中にボイラーを利用して蒸留水を精製することに限られていた（『機関史』上七四三〜七四四頁）。龍驤が汽走した場合、一昼夜に消費する石炭は五万斤であり、その石炭庫の容量六〇万斤から概算すると、一二日分の石炭を積載可能であった（『機関史』上四五七頁）。石炭の補給可能な場所が限られ、四〇〜五〇日以上もの間を無補給で航行しなければならぬ当時の遠洋航海では帆走が主になるのは当然であった⁴³。

このように蒸気機関の運転に関しては、明治一〇年代半ばには、教育機関である海軍兵学校と遠洋航海において、一旦は外国人の指導を受ける体制から脱することができた。しかし輸入する新艦の廻航に際しては外国人の同乗と指導が引き続き必要であった。イギリスへ建造を発注した金剛、比叡、扶桑の三艦は、明治一一年に相次いで日本に到着するが、その際廻航員として乗組んでいたイギリス海軍予備役の機関士をそのまま雇用し、以降も引き続き実地での機関運転の指導にあたらせている（『機関史』上二九七、三二三、七四七頁）。なお、廻航に際して扶桑に乗組んでいた一等機関士ウィグソルは、その後九年もの間日本で継続雇用され、最終的に日本を離れたのは明治二〇年であった。当時はちょうど帆走が主の時代から汽走が主となる時代への過渡期にあたっており、これらの三艦には、ヨーロッパにおける蒸気機関に関する技術革新の成果が多数収められていたため、日本人への技術指導が必要であった。

遠洋航海の部分で述べたように、明治一〇年までに建造された蒸気船は、その航海の大部分を帆走していたために、機関方乗組員の職務

が、出入港時の機関運転や飲料用水の精製程度に限られていた。明治一〇年代後半は、技術革新により燃料の消費量などの機関の効率が著しく向上したことで、すべてを機関の動力により賄う時代への移行期にあたっており、機関に関する職務に大きな変化が見られた⁴⁴。外国から購入した艦船では、明治一九年二月と四月にイギリスで竣工した浪速と高千穂がその転換点となった（『機関史』上二九八、三三四頁）。これら二艦においては、砲塔回転用の水圧機械、空気圧搾機械などの諸兵器から、発電機や舵取、揚錨など航海用の諸装置にまで機関の動力が使われ、機関方の所掌範囲が一気に拡大した。明治二五年に横須賀において竣工した秋津洲には帆装がなく、信号用として二本の檣を持っていたのみであった⁴⁵。明治二〇年頃には、機関の信頼性と燃費の向上により、蒸気船にはもはや帆装が不要となっていたが、その反面、機関方の重要性は高まる一方であった。

新艦廻航時の外国人の乗組は、明治一九年四月にイギリスで竣工した高千穂が最後となり（同年二月にイギリスで竣工した浪速は、日本人のみで廻航）、以降の輸入艦船については日本人のみで廻航されている（『機関史』上二九八頁）。その場合には、竣工に先立って日本人廻航員を派遣し、その艦船の公試運転（艦船建造の最終段階で行う性能試験）などに参加することで運転技術を身に付けさせていた（『機関史』上七四八〜七四九頁）。乗組員にとっては、完成前の艦船の機関に触れることで、その機構や建造法に関する知識を得るとともに、日本まで廻航することで、機関の運転技術だけでなく、航海中に起きる故障などへの対処方法も実践の中で学ぶこととなり、結果的に機関

の運用技術の進歩に大いに貢献することとなった。

前述のように明治二〇年には、国内で機関運転の指導にあたっていたイギリス人が解雇され、また外国で建造した艦船の廻航も日本人のみで可能となったことで、蒸気機関運転の国内化は、この頃には達成したものと言える。安政二年に最初の蒸気船観光丸を入手してから約三〇年を経て、蒸気機関の運転技術が外国人の手を離れ、日本人のものとなった。

2 建造技術の習得

慶応元年九月に起工した横須賀製鉄所は、維新の混乱を経て明治四年一月には工部省の所管となり、翌二月に第一船渠が竣工し一通りの完成をみている（『機関史』上六一二―六一三頁）。そこに据え付けられた工作機械は、すべてオランダやフランスからの輸入品であり、幕末期より引続きウェルニールフランス人の指導下にあった。⁽⁴⁶⁾同年四月に横須賀造船所と改称され、翌五年一〇月には管轄が工部省から海軍省主船寮に移り、以降造船分野において目覚ましい発展をみせる。同年以降蒼龍丸、第一・第二利根川丸、函容丸を相次いで建造している。これらの艦船に搭載されたのはいずれも旧式の外車式機関であったが、その建造経験は日本人の技術力向上に大いに貢献することとなった。

明治八年三月に進水（翌九年六月竣工）した清輝は、表面復水器と二段膨張機関（複式機関）という新技術を採用し、日本人技術者により建造（設計はフランス人）された画期的な蒸気船であった（『機関史』上三二八頁）。

復水器は、シリンダーで膨張する仕事を終えた水蒸気を冷却し水に戻す（凝縮させる）装置であり、凝縮により背圧を下げることで出力を高めるとともに、復水を回収し罐水（ボイラー水）として再利用することを目的とする。海上を航行する蒸気船において、復水器の冷却のためには通常海水が用いられている。一八六〇年代までの方式は、水蒸気に海水を直接噴射して冷却する注射復水器であり、海水と罐水が混じり合うため、海水に含まれる不純物がボイラーやシリンダー内部に固着することで腐食を早め、ある程度以上に蒸気圧力を上げて出力を向上させることができなかった。

イギリスで一八六〇年代に実用化された表面復水器は、復水器中に海水を通す多数の細管を配置し、周りの水蒸気を冷却して復水させる装置であり、海水との混合がなくなったことで罐水として真水を利用することが可能となった。それにより蒸気圧を上げることができ、高圧水蒸気を利用した二段膨張機関による出力の向上と効率の改善が実現した。⁽⁴⁷⁾表面復水器と二段膨張機関においては、各部分が高圧に耐える必要性と、復水器の細管が熱膨張などの変化を受けても接合部に密閉性が保たれている必要がある、建造にはより高い技術力が求められた。⁽⁴⁸⁾清輝の建造からは、日本人技術者の技術レベルの向上を伺うことができる。

それを受けるように、横須賀造船所ではもはや外国人教師の指導は必要なくなったとして、明治八年末をもって首長ウェルニール以下の大部分のフランス人を解雇し、残る数名も一一年五月までには全員解雇している（『機関史』上三二七、六一五―六一七頁）。横須賀造船所が

純粹に日本人のみでの運用となった時であった。ただし清輝の機関は始動・停止に問題があり、また清輝とほぼ同時期に横須賀で起工した迅鯨も、公試運転時から機関に不具合が生じていた（『機関史』上三三三頁）。工場が日本人の手に渡ったとはいえ、製作物の精度面などではまだ発展途上段階にあった。このように技術面での不安を抱えながらも、比較的早期の段階で外国人を解雇しているのには、財政的理由から政府内では早くより日本人への置き換えの動きがあったことが大きく影響している^{④9}。

また当時は明治初年から欧米に派遣されていた留学生が帰国した時期であったことも関連している。明治期には、国内での技術伝習と並行して、海外への留学生の派遣も盛んに行われており、海軍兵学寮の生徒や軍艦の乗組員から成績優秀な者が留学生として選ばれた。機関学では、明治四年二月に山縣少太郎らをイギリスへ派遣したのが最初であった（『機関史』上七〇〇～七〇二頁）。海軍兵学寮や横須賀造船所に外国人技術者を招聘しているとはいえ、国内で実際に触れることが可能であったのは、その当時日本が所有していた艦船の機関のみであり、最新の技術を習得するためには留学生の派遣は必須であった。この時イギリスへ派遣された留学生の多くは、同国に建造を発注し明治一年に相次いで日本へ廻航される軍艦金剛、比叡、扶桑に乗組んで帰国している。彼らはそれぞれ海軍の要職に起用され、山縣少太郎は海軍の機関建造部門である主船局機関課に配属されて一四年には課長となるなど、フランス人に代わって国内の造艦・造機技術をリードしていくこととなった（『機関史』上七〇八～七〇九頁）。

また外国での艦船の建造に際しては、運転技術の習得の場合と同様に、建造技術者を派遣して技術習得させている。明治一七年にイギリスで起工した浪速・高千穂の建造に際しては、工事監督の名のもとに技術者一〇名を派遣し、実地での造艦・造機技術の伝習を受けている（『機関史』上七四六～七四八頁）。

前述したように明治一〇年代は欧米における軍艦の技術革新の時期にあたっており、軍艦には学術の進歩に基づく最新の技術が多数盛り込まれていた。日本においてもその流れに乗り遅れないよう、明治一六年から八年計画での海軍の軍備拡張（第一期海軍拡張計画）を目指し、明治一八年から二二年までフランス海軍造船技師ベルタンを海軍省顧問として雇用して、船体の設計にあたらせている^{⑤0}。ベルタンが設計した横須賀造船所で建造した通報艦八重山（二三年三月竣工）の機関は、イギリスから輸入した当時最新の三段膨張機関であった（『機関史』上五三六頁）。これはイギリスから派遣された監督のもと日本で組立てられ、大いに日本人の技術力向上に貢献することとなった。明治二二年のベルタンの解雇と八重山の竣工後は、軍艦の建造が日本人技術者の手に渡ったとはいえ、それ以降も外国建造の艦船（当然機関部も外国製）が多数を占めることから、国内化の達成は道半ばであった^{⑤1}。

日清戦争後の明治二九年から始まる第二期海軍拡張計画に際して建造された二〇隻の艦船（小型の駆逐艦・水雷艇を除く）のうち、国内で建造されたのは五隻のみであった。これは外国で建造した方が安価となる大きな理由であったが、技術習得を目的としてあえて一

部は国内で建造している（『機関史』下三頁）。外国での艦船建造に際しても、前記浪速・高千穂と同様に、日本から技術者を派遣することで国内での技術発展に大きく貢献することとなった（『機関史』下三八九頁）。

このような技術習得により、明治三十六年からの第三期海軍拡張計画の頃には、横須賀海軍工廠（同年一月改称）の技術レベルは、大型の戦艦（とその機関部）を建造することも十分可能となっていたが、工期と費用の二つの面では、いまだ外国製には劣る状況であった。⁽⁵²⁾しかし、第三期拡張計画開始直後の明治三十七年二月に日露戦争が勃発し、局外中立により艦船の輸入が不可能となったことで、国内において建造せざるをえない状況になる。このように日露戦争を契機として、工期・費用を度外視した国内建造に着手することとなり、結果的には国内の建造能力を一気に向上させることとなった。日露戦争期（明治四四年までに建造された艦船（小型の駆逐艦・水雷艇を除く）のうち、外国製は三隻に対して国内製は一七隻と一気に逆転することとなったのである。⁽⁵³⁾戦争という非常事態を一つのきっかけとして、国内建造が主、外国建造が従へと変化していった。

それ以降、海軍の主力となる大型艦のうちで、外国から輸入したものは、技術輸入の目的でイギリスへ発注し明治四四年に起工した巡洋戦艦金剛（前記金剛とは別艦。大正二年（一九一三）八月竣工）が最後であった。⁽⁵⁴⁾

ここからは視点を変え、機関を建造する材料について検討する。明治二三年三月に横須賀で起工した巡洋艦秋津洲の機関には、初めて重

要部分に国内製の铸鋼が使用されている。⁽⁵⁵⁾一般に铸鋼は鋼を溶融して铸型に流し込み凝固させたものであり、鉄を铸型で凝固させた铸鉄よりも強度は高いが、融けたものの流動性が悪い、凝固収縮が大きいなどの欠点があり、精度の高い製品を作り出すには、高度な技術が要求される。⁽⁵⁶⁾それまでの铸鋼は主に海外からの輸入であったが、明治一〇年代から二〇年代にかけてイギリスやフランスに海軍技官らを派遣して铸鋼技術を導入したことで国内製造が可能となった。⁽⁵⁷⁾

明治三八年一月に呉海軍工廠で起工した巡洋戦艦筑波（前記筑波とは別艦）の機関には、初めて国内製の合金鋼が使用されている。⁽⁵⁸⁾合金鋼（特殊鋼とも言う）とは、鋼にある特定の元素を添加して特殊な性質を付加したものである。⁽⁵⁹⁾機関のピストン棒や、ピストンの往復運動をクランク軸に伝え回転運動に変換する連接棒、さらに車軸などの部品は、大きな力が働くとともに高速で運動するため、高い強度と軽さを兼ね備えた合金鋼で製造する必要がある。これらの部品も、従来は外国からの輸入に頼らざるを得なかったが、明治三十六年一月には呉海軍工廠内に製鋼部が設けられ、合金鋼製造法の研究・開発が進展したことにより、筑波建造の頃には国内艦船建造用に供給が可能となっていた。⁽⁶⁰⁾明治四〇年頃には材料の面でも国内化が達成されつつあった。

また、船体や機関を建造する過程において必須となる工作機械は、日清戦争期までは外国からの輸入が主であったが、日露戦争前後には国内において池貝鉄工所（当時の名称は池貝工場）などの工作機械専門工場が、海軍や陸軍に高精度な工作機械の供給を開始しており、艦

船の建造手段においても国内化が達成されつつあった⁶¹。工業水準をはかる指標とされる工作機械の自給が可能となったことは、日本の工業技術レベルの向上を如実に示している⁶²。

おわりに

最後に本稿の内容をここで小括しておく。まず幕末期における蒸気機関の運転技術について、幕府は長崎海軍伝習所や江戸の軍艦操練所などで技術習得を目指していた。しかし、当時国内でもっとも多くの蒸気船を所有し、直接触れることのできる機会に恵まれていたはずの幕府においてすら、慶応期になってもその運転技術には大きな不安を抱えており、外国人の技術に頼らざるを得ない状況であった。そこには実地訓練の不足が大きく影響していた。

また修理・建造技術について、金属加工技術の面で立ち遅れた幕末期の日本では、釘穴一つあけるのにも、ネジ一つを製作することにも苦労していた。そのためオランダやフランスなどから工作機械が輸入されてくるが、当時の日本人の技術レベルではそれを使いこなすことも容易ではなかった。特に蒸気機関では、蒸気漏れが発生しないように、それぞれの部品には高い精度が必要であったが、幕末期の日本人技術者に求めるのは困難なレベルであった。機関部の建造や修理にはオランダ人やフランス人の支援が必要であった。

明治期の機関運転技術は、明治六年から海軍兵学寮において、イギリス海軍機関士サットンを中心とした体系的な機関科教育が行われることで大きく進展していく。機関専門の士官の養成を開始したことも

大きな特徴である。座学についてはイギリスの船舶用機関書を教科書とし、実地訓練では横須賀造船所に海軍兵学寮横須賀分校を設けて実施する体制となった。イギリス人による指導は遠洋航海に際しても行われ、兵学寮での教育と合わせて日本人の機関運転技術の向上に大きく貢献することとなった。それらと並行して明治一〇年代にはイギリスに発注した艦船の廻航要員として乗組んでいたイギリス海軍予備役の機関士らをそのまま継続雇用し、実地での乗員訓練にあたらせている。当時は、航海の大部分を帆走していた時代から、様々な技術革新により機関の効率と信頼性が向上したことで、帆装が不要となりすべてを機関の動力により賄う時代への転換期であった。それにより機関に関する職務が急拡大した時期であったため、最新の技術を身に付けた外国人の指導が必要であった。明治二〇年には、機関運転の指導にあたっていたイギリス人が解雇され、その前年には外国で建造した艦船の廻航も日本人のみで可能となったことで、蒸気機関運転の国内化が達成された。

機関の建造技術については、明治四年に完成した横須賀製鉄所（後の横須賀造船所）においてフランス海軍技術者らの指導を受けながら、艦船とその機関を建造して技術習得を行っている。また同年からはイギリスやフランスへ留学生を派遣し機関の建造技術の習得を目指した。明治一年には彼らの多くが帰国し、横須賀造船所の外国人が全員解雇され日本人のみとなったが、その技術レベルは依然発展途上段階にあった。その後は外国での艦船建造に際して技術者を派遣するとともに、技術輸入の目的で外国から最新式の機関を輸入し、国内で組立て

ることと技術力の向上を図った。それにより日露戦争期以降（局外中立という要因もあったが）、国内での艦船・機関の建造が主となっていく。またほぼ同時期には、外国からの技術移入などにより、材料・工作機械についても国内生産が可能なレベルに達することができた。建造技術の国内化達成は明治三〇年代後半から四〇年代にかけてであった。

船舶用蒸気機関の運用技術について、安政二年に最初の蒸気船観光丸を入手して以降、運転技術は約三〇年、修理・建造技術は約五〇年を経て日本人のものとなっていた。そこに大きな役割を果たしたのは、幕末期にはオランダ、明治期以降はフランス・イギリスの海軍とその技術者達であった。

〔注〕

- (1) 田中航『蒸気船』（毎日新聞社、一九七七年）三〇～三六頁。
- (2) 同前五六～六一頁。
- (3) 勝海舟『海軍歴史』（原書房、一九六七年（一九二七年刊の復刻）「船譜」。
- (4) 造船協会編『日本近世造船史（明治時代）』（原書房、一九七三年（一九一一年刊の復刻））五七五頁。
- (5) 蒸気船が海上交通にもたらした影響については、上野喜一郎『船の世界史』上巻（舵社、一九八〇年）、元網数道『幕末の蒸気船物語』（成山堂書店、二〇〇四年）、石井寛治『情報・通信の社会史』（有斐閣、一九九四年）、拙稿「幕末期芸州浅野家の軍備増強―蒸気船の導入を中心に―」（『鷹陵史学』三九号、二〇一三年）などを参照。
- (6) 前掲拙稿「幕末期芸州浅野家の軍備増強―蒸気船の導入を中心に―」、保谷徹『戊辰戦争』（吉川弘文館、二〇〇七年）。
- (7) 神谷大介『幕末期軍事技術の基盤形成―砲術・海軍・地域―』（岩田

- 書院、二〇一三年）、高久智広『幕末期の幕府の艦船運用と兵庫津―『御軍艦御碇泊』御用をめぐる―』（『日本史研究』六〇三号、二〇一二年）。
- (8) 拙稿「幕末維新时期芸州浅野家における蒸気船運用」（『日本歴史』八二七号、二〇一七年）、田畑勉「加賀藩の洋式軍艦『発機丸』について―その購入と航海をめぐる」（『金沢星稜大学論集』四〇（三）、二〇〇七年）。

- (9) 井上洋一郎「日本近代技術史の一研究―造船技術の自立化について―」（『経済論叢』九九（一）、一九六七年）。
- (10) 造船部門においては、近代造船業の創成期に、海軍（横須賀製鉄所）の果たした指導的役割はきわめて大きいとされている（前掲井上洋一郎「日本近代技術史の一研究―造船技術の自立化について―」九二頁）。
- (11) 文久二年二月八日付青山将監宛横山藏人書簡（加越能文庫「奥之間示談物等寛書」（金沢市立玉川図書館・近世史料館所蔵）、時山弥八編『稿本もりのしげり』（時山弥八、一九一六年）三八八頁。
- (12) 前掲『海軍歴史』五二～五五頁所収。
- (13) 同前四四～四五頁所収。
- (14) 前掲田中航『蒸気船』一〇四～一〇五頁。一度シリンドラーで仕事をした蒸気を再び別のシリンドラーに導いて膨張させる二段膨張機関（複式機関）が実用化されたのは一八五〇年代半ば以降であり、それにより燃料消費量を半減することが可能になったと言われている。
- (15) 前掲『海軍歴史』六四～六五頁。
- (16) 文倉平次郎編『幕末軍艦咸臨丸』（巖松堂、一九三八年）九三頁。
- (17) 黒板勝美編『続徳川実紀』第三篇（経済雑誌社、一九〇六年）一五二三～一五二四頁、前掲『海軍歴史』八二～八三頁。
- (18) 前掲『海軍歴史』二七七～二八〇頁所収。
- (19) 藤井哲博『長崎海軍伝習所』（中央公論社、一九九一年）一六頁、前掲『海軍歴史』五一頁。
- (20) 簀先好紀、江越弘人『白帆注進…出島貿易と長崎遠見番』（長崎新聞

- 社、二〇〇一年）一〇六頁。
- (21) 毛利家文庫「土屋平四郎回顧摘録」（山口県文書館所蔵）。本記録は土屋平四郎が明治三十一年に作成した回顧録である。
- (22) 明治初期の新政府海軍においても、機関方は「缶焚き」と見て武官ではなく文官として扱われ、地位が低く抑えられていた（戸高一成「もう一つの海軍士官教育」（新人物往来社戦史室編『海軍江田島教育』（新人物往来社、一九九六年）一四七頁）。
- (23) 国立公文書館所蔵「御軍艦所之留 慶応元年」。
- (24) 前掲『海軍歴史』三四六頁。
- (25) 前掲井上洋一郎「日本近代技術史の一研究―造船技術の自立化について―」八三頁。
- (26) 公爵島津家編纂所編『薩藩海軍史』上巻（原書房、一九六八年）一九二七年刊の複製）六〇三、六一〇、六二二頁。
- (27) 同前六二二頁。
- (28) 同前六二二、六六五頁。
- (29) 日本学士院内明治前日本科学史刊行会編『明治前日本機械技術史』（日本学術振興会、一九七三年）二五七頁。
- (30) 日本機械学会編『新・機械技術史』（日本機械学会、二〇一〇年）三二〇頁。
- (31) 藤野保「長崎造船所」（地方史研究協議会編『日本産業史大系 八』九州地方篇（東京大学出版会、一九六〇年）三四五頁。
- (32) 中西洋「日本近代化の基礎過程」上巻（東京大学出版会、一九八二年）八〇、八一頁。
- (33) 「広島藩蒸気船軍艦震天丸長崎航海文書」（個人蔵）No.二（元治元年一二月五日付浅野家軍艦奉行道家牧太書簡、同No.三〇（震天丸乗員の飯田旗之介が、慶応元年閏五月二三日付で提出した報告書の草稿）。
- (34) 保谷徹「幕末日本と対外戦争の危機」歴史文化ライブラリー二八九（吉川弘文館、二〇一〇年）一三七、一三八頁。
- (35) 前掲「御軍艦所之留 慶応元年」。
- (36) 山本潔「日本における職場の技術・労働史」（東京大学出版会、一九九四年）一一六、一一八頁。
- (37) 横須賀海軍工廠編『横須賀海軍船廠史』（原書房、一九七三年）一九一五年刊の複製）二五、三九頁、『機関史』上二三〇、二三二頁。
- (38) 前掲『海軍歴史』二八〇、二八五頁所収。当時のボイラーはその給水に海水が用いられていたため内部の腐蝕が激しく、耐用年数は二、三年とされていた（今津健治「近代日本の技術的条件」（柳原書店、一九八九年）三三頁）。
- (39) 嘉永六年には、上海にはすでにドック（船渠）が建造されていた（前掲中西洋「日本近代化の基礎過程」上巻、一〇三頁）。
- (40) 乾行は、一八五九年イギリス製のスクリー式蒸気船で、薩摩島津家が元治元年七月に購入し、明治三年六月に新政府へ献納されていた（『機関史』上四六五頁、前掲『海軍歴史』「船譜」）。
- (41) 海軍兵学校編『海軍兵学校沿革』（原書房、一九六八年）一九一九年刊の複製）二九九頁。
- (42) 『機関史』上七四四頁、前掲造船協会編『日本近世造船史（明治時代）』一九四、一九五頁。
- (43) 明治一七年二月から実施された筑波のオセアニア・南米方面への航海では、碇泊日数を除いた航海日数二一〇日間のうち、機関を運転して汽走したのは二二日間（日程のほぼ一割のみであり、残りの九割は帆走であった（『機関史』上七四五、七四六頁））。
- (44) 一八八〇年代のイギリス海軍においては、複式機関及び高压蒸気の使用で、一八六〇年以前と比較して石炭の消費量が一／三になったとされる（同前三一六頁）。
- (45) 前掲造船協会編『日本近世造船史（明治時代）』三〇二、三五五頁。
- (46) 同前一〇四頁。
- (47) 前掲田中航『蒸気船』一〇八、一〇九頁。
- (48) 小林学「一九世紀における高压蒸気原動機の発展に関する研究―水蒸気と鋼の時代」（北海道大学出版会、二〇一三年）一一四、一八九頁。

- (49) 中岡哲郎「総論 産業技術とその歴史」(中岡哲郎等編『産業技術史(新体系日本史二)』(山川出版社、二〇〇一年)一三三頁。
- (50) 前掲造船協会編『日本近世造船史(明治時代)』二九〇頁。
- (51) 同前二九〇頁。
- (52) 同前二六五頁。
- (53) 日本工学会編『改版明治工業史(三) 造船篇』(日本工学会、一九三一年)一一八頁。
- (54) 千藤三千造等『造船技術の全貌―わが軍事科学技術の真相と反省―』(興洋社、一九五二年)一一頁。
- (55) 前掲造船協会編『日本近世造船史(明治時代)』三七八頁。
- (56) 佐々木雅人『機械材料入門』(理工学社、二〇〇五年)一〇二頁。鉄は二%以上の炭素を含み、強度は劣るが铸造は容易。鋼は炭素濃度二%以下であり、鉄よりも強靱である。
- (57) 前掲日本工学会編『改版明治工業史(三) 造船篇』八三頁。
- (58) 前掲造船協会編『日本近世造船史(明治時代)』三八五頁。
- (59) 前掲佐々木雅人『機械材料入門』六一頁。
- (60) 『機関史』下二七四頁、日本鉄鋼史編纂会編『日本鉄鋼史(明治篇)』(五月書房、一九八一年)一六一〜一六二頁。
- (61) 日本工学会編『明治工業史(九) 機械編・地学編』(原書房、一九九五年(一九三〇年刊の複製))九〇〜九二頁。
- (62) 明治期末には、民間の造船所が外国からの注文を受けて軍艦を建造するようになっていた。明治三七〜四〇年にかけては、川崎造船所が清国政府よりの依頼で、砲艦江元號以下一〇隻を建造し、明治四〇年には暹羅(シャム・現在のタイ)政府よりの注文を受け、駆逐艦スヤタ・ヨンチョン(日本の春雨型と大体同型)を起工している(前掲日本工学会編『明治工業史(九) 機械編・地学編』四二頁)。

国内造船業全体の技術レベルの向上を示している。

(さかもと たくや 文学研究科日本史学専攻博士後期課程)

(指導教員・青山 忠正 教授)

二〇一七年九月二十九日受理